



Facultad de Ciencias
Universidad Zaragoza

TRABAJO DE FIN DE GRADO

GRADO DE QUÍMICA

MEDIDA DE LAS PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE MEZCLAS DE N-ALCANOS Y N-CLOROALCANOS

Curso 2017/2018

Autor:

Raquel Izquierdo Tello

Director:

Dr. Carlos Lafuente Dios

Departamento:

Química Física

Resumen:

A través de la medida de la capacidad y resistencia eléctrica en un rango de temperaturas de 283,15 a 323,15 K y a la presión de 0,1 MPa de mezclas n-alcanos y n-cloroalcanos, se ha determinado la permitividad estática relativa de las mismas. En concreto se han estudiado los sistemas formados por n-hexano y n-heptano con 1-cloropropano y 1-cloropentano. También se han calculado las permitividades de exceso y los factores de correlación de Kirkwood. Todas estas propiedades proporcionan una idea de la naturaleza de las interacciones que operan además de permitir relacionar los valores obtenidos con la longitud de la cadena hidrocarbonada de los componentes que los forman.

Abstract:

Capacity and electrical resistance at temperatures of 283,15 to 323,15 K and at pressure of 0,1 MPa were determined for the binary mixtures formed by n-alkane and n-chloroalkane. The relative static permittivity has been determined from the same system formed by n-hexane and n-heptane with 1-chloropropane and 1-chloropentane have been studied. Excess permittivity and Kirkwood's correlation factors have also been calculated. All these properties provide an idea of the nature of the interactions that operate in addition to allowing to relate the values obtained with the length of the hydrocarbon chain of the components that form them.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	1
◆ Productos utilizados.....	1
◆ Dispositivos experimentales.....	2
→ Balanza analítica y medida de masas	2
→ Equipo de permitividades estáticas ..	3
→ Procedimiento	4
3. TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	4
◆ Permtividad estática relativa ϵ_r	6
◆ Permitividad de exceso , ϵ^E	6
4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	12
◆ Consideraciones acerca de los sistemas binarios estudiados.....	12
◆ Factores de correlación de Kirkwood, g	14
◆ Comparación con otros sistemas binarios análogos.....	15
5. CONCLUSION.....	18
6. REFRENCIAS.....	19

ANEXOS (TABLAS)

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de propiedades eléctricas de mezclas líquidas proporciona información complementaria a la proporcionada por las medidas de propiedades termodinámicas y de transporte. En este sentido, la constante dieléctrica está estrechamente relacionada con la estructura molecular de la muestra [1], por lo que la variación de esta propiedad con la composición y la temperatura da información sobre los cambios de estructura en el proceso de mezcla [2, 3].

En trabajos previos se habían determinado propiedades termodinámicas y de transporte de mezclas alcano + cloroalcano [4-6]. Aquí se presentan resultados experimentales de permitividades estáticas relativa para las mezclas binarias que contienen un n-alcano: n-hexano y n-heptano y un n-cloroalcano: 1-cloropropano y 1-cloropentano dentro del rango de temperatura (283,15 a 313,15) K y a la presión de 0,1 MPa.

Este trabajo se fundamenta en el tratamiento y obtención de la permitividad de exceso, que se define como la diferencia entre el valor real de la permitividad medida y el correspondiente a una mezcla ideal en las mismas condiciones de medida de presión, temperatura y composición. Asimismo se han determinado los factores de correlación de Kirkwood a la temperatura de 298,15 K. El análisis de estas propiedades nos permite obtener la descripción del comportamiento dieléctrico real de la mezcla

2. PARTE EXPERIMENTAL.

2.1. Productos utilizados y preparación de mezclas

Nuestro objeto de estudio son mezclas binarias de n-alcanos y n-cloroalcanos, formadas a partir de los componentes puros presentados en la Figura 1.

En la Tabla 1 se muestra la información sobre los líquidos utilizados. Las casas comerciales certificaron la pureza de los productos utilizados. Debido a su alta pureza no se realizó sobre ellos una purificación previa a su uso.

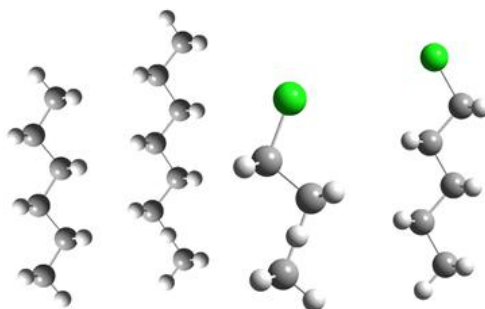


Figura 1: Estructura de las moléculas de hexano, heptano, 1-cloropropano y 1-cloropentano

Tabla 1 Líquidos utilizados

Nombre químico	Fórmula	Número CAS	Fuente	Pureza ^a	Contenido en agua / ppm	Método
Hexano	C ₆ H ₁₄	110-54-3	Sigma-Aldrich	0.997	185	KF
Heptano	C ₇ H ₁₆	142-82-5	Sigma-Aldrich	0.997	215	KF
1-Cloropropano	C ₃ H ₇ Cl	540-54-5	Aldrich	0.990	140	KF
1-Cloropentano	C ₅ H ₁₁ Cl	543-59-9	Aldrich	0.996	155	KF

^a La pureza está expresada en fracción en masa.

Es importante en este punto explicar, antes de profundizar en procedimientos experimentales, que estas mezclas preparadas las utilizamos para obtener los datos de la capacidad y resistencia eléctrica de las mismas. A partir de estos valores se puede obtener la permitividad estática relativa o “permitividad”.

2.2. Dispositivos experimentales y realización de medidas

A continuación se presentan todos aquellos dispositivos utilizados para la medida de los parámetros de los que nos valdremos para calcular las propiedades elegidas.

2.1.1. Balanza analítica y medida de masas

La preparación de las mezclas a las distintas fracciones molares se realiza de una forma sencilla utilizando una balanza analítica. Para conocer la composición de la muestra se utiliza el método de diferencia de pesada. Se utiliza una balanza Sartorius CP225-D (Figura 2), que presenta una incertidumbre de $\pm 1 \times 10^{-5}$ g. Se estima que el máximo error cometido en la determinación de la composición (en fracción molar) de las mezclas es menor que $\pm 1 \times 10^{-4}$.



Figura 2. Balanza de precisión Sartorius.

2.1.2. Equipo de permitividades estáticas

La capacitancia-resistencia-impedancia se analiza con un equipo de alta precisión Agilent 4263 BA LCR que se conecta a una celda de medida con cuatro terminales, Agilent 16452A, a través de un cable de conexión Agilent 16048A. Este equipo aparece representado en la Figura 3. Con la ayuda de un baño termostatzado por un termorregulador Julabo MC que mantiene la temperatura constante $\pm 0,01$ K, se consigue que la celda de medida se encuentre a la temperatura deseada. La incertidumbre en la medida es del 1%.



Figura 3. Equipo de permitividades estáticas

La muestra es introducida con una jeringuilla a través de un orificio en el centro de la celda de permitividad, que se encuentra sumergido en el baño de agua, a las diferentes temperaturas de medida, y mediante los conectores del Agilent 16048A, llegan las medidas de resistividad al equipo Agilent 42638A LCR el cual se encarga de registrar los valores medidos en la pantalla.

La muestra introducida tiene un volumen limitado y conocido. Una vez introducida, el dispositivo va dando valores que varían hasta que la muestra alcanza la temperatura y se estabiliza. De este modo se obtienen los resultados de la resistividad de las diferentes mezclas a las distintas temperaturas en unidades de pico Faradios (pF) directamente en el dispositivo.

Hay que tener en cuenta que las mezclas medidas son las correspondientes a las once fracciones molares que forman los once puntos estudiados para cada par de especies.

Previamente a la realización de una nueva medida, el equipo se limpia haciendo pasar acetona por la celda de medida, y secando posteriormente mediante un bombeo de aire el conducto para evitar la contaminación de la siguiente muestra a medir.

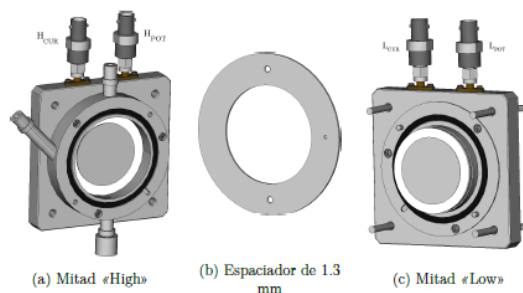


Figura 4. Celda de permitividad.

Esta celda de permitividades es, en esencia, un condensador de placas paralelas. Según el fabricante permite realizar medidas entre 20 Hz y 30 MHz en un rango de temperaturas que va de -20 a 125 °C. En nuestro caso se van a realizar las medidas a una frecuencia de 2 MHz, por tanto la permitividad obtenida puede considerarse la permitividad estática.

2.3. Procedimiento

La forma de trabajo llevada a cabo para el estudio de las propiedades de las mezclas binarias consistió en realizar 11 puntos por mezcla (además de los dos puntos correspondientes a los compuestos puros) para, de esta forma, llevar a cabo un barrido de concentraciones molares de todos los componentes, con variaciones de 0,1 unidades en fracción molar. Además, se prepararon dos muestras a 0,05 y 0,95 en fracción molar para obtener una caracterización más adecuada tanto de la zona más diluida como de la más concentrada.

Para ello, se pipetearon los volúmenes correspondientes para cada caso para completar un total 5 ml, los cuales se añadieron a pequeños frascos de vidrio de tapón roscado, agitándose durante un breve espacio de tiempo para conseguir una buena mezcla de los componentes.

La composición real de la mezcla se obtuvo por el método de la diferencia de pesada que consiste en pesar un bote vacío y tras la adición consecutiva de cada líquido. Para ello, se utilizó la Balanza Sartorius CP225D descrita en el apartado anterior.

3. TRATAMIENTO DE DATOS:

Una vez realizadas las medidas experimentales de resistencia y capacidad, se trabaja con los datos obtenidos para inferir en las siguientes propiedades:

- Permitividad estática relativa
- Permitividad de exceso

Antes de proceder al tratamiento de los resultados experimentales. Se van a proporcionar los valores de las permitividades estáticas relativas a la presión de 0,1 MPa y a las temperaturas de trabajo necesarias para llevar a cabo dichos cálculos. También se van a comparar nuestros resultados con los valores de la literatura a tres temperaturas diferentes [7-30].

Tabla 2 Permitividades estáticas relativas, ε , a temperaturas de trabajo y a $p = 0,1$ MPa, momentos dipolares en la fase gaseosa, μ , factores de correlación de Kirkwood, g , y comparación de las permitividades estáticas con valores de la literatura a tres temperaturas.^a

Compuesto	T / K	ε^{exp}	ε^{lit}	μ/D	g
Hexano	283,15	1,910	1,90128 [7]	0 [11]	
	288,15	1,903			
	293,15	1,896			
	298,15	1,889	1,89 [8]		
	303,15	1,881			
	308,15	1,874			
	313,15	1,867	1,8562 [9]		
Heptano	283,15	1,946	1,9349 [9]	0 [11]	
	288,15	1,938			
	293,15	1,930			
	298,15	1,922	1,9113 [9]		
	303,15	1,915			
	308,15	1,907			
	313,15	1,900	1,8917 [9]		
1-Cloropropano	283,15	8,908	9,002 [10]	2,05 [11]	0,9902
	288,15	8,695			
	293,15	8,493			
	298,15	8,295	8,355 [10]		
	303,15	8,095			
	308,15	7,908			
	313,15	7,283	7,708 [10]		
1-Cloropentano	283,15	6,834	6,892 [10]	2,16 [11]	0,9716
	288,15	6,697			
	293,15	6,574			
	298,15	6,451	6,481 [10]		
	303,15	6,335			
	308,15	6,214			
	313,15	6,095	6,092 [10]		

^a Las incertidumbres estándar u son $u(T) = 0.01$ K, $u(p) = 0.0025$ MPa, y las incertidumbres expandidas combinadas U_c son $U_c(\varepsilon) = 1$ % con un nivel de confianza de 0.95 ($k = 2$).

3.1. Permitividad relativa, ϵ_r

La permitividad es una propiedad que describe el comportamiento de un material al someterlo a un campo eléctrico externo. La permitividad relativa, ϵ_r , se define como el cociente entre la permitividad absoluta, ϵ , y la permitividad en el vacío, ϵ_0 .

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon_r' - \epsilon_r'' i \quad (1)$$

La permitividad es una magnitud compleja porque está constituida por una parte imaginaria y una parte real. La parte real proporciona el valor de la energía del campo eléctrico externo almacenada por el material. Por otro lado, la parte imaginaria, denominada factor de pérdida, representa la disipancia de la energía.

Los valores podemos hallarlos de forma directa ya que son los obtenidos a partir de la medición experimental de la capacitancia y de la resistencia según muestra la siguiente ecuación:

$$\epsilon_r = \alpha \left(\frac{C_p}{C_o} - \frac{1}{\omega C_o R_p} i \right) \quad (2)$$

donde α es un cociente de corrección, C_p es la capacitancia de la celda en presencia de muestra y C_o representan la capacitancia de la celda de medida en ausencia de muestra, R_p es la resistencia de la celda con muestra y ω es la frecuencia angular, que se puede calcular a partir de la frecuencia f de la siguiente forma: $\omega = 2\pi f$.

El factor de corrección, α , es calculado mediante la fórmula matemática:

$$\alpha = \frac{100 |\epsilon_{rm}|}{97,0442 |\epsilon_{rm}| + 2,9558} \quad (3)$$

Para la obtención de $|\epsilon_{rm}|$ se usa la posterior expresión:

$$|\epsilon_{rm}| = \sqrt{\frac{C_p^2}{C_o^2} + \frac{1}{(\omega C_o R_p)^2}} \quad (4)$$

3.2. Permitividad de exceso, ϵ^E

La permitividad estática de una mezcla líquida termodinámicamente ideal viene dada por los valores de la media ponderada por fracción de volumen de la permitividad estática de los componentes puros. De modo que, la permitividad de exceso, ϵ^E , se puede calcular mediante las siguientes ecuaciones:

$$\varepsilon^E = \varepsilon - \varepsilon^{id} \quad (5)$$

$$\varepsilon^{id} = \phi_1 \cdot \varepsilon_1 + \phi_2 \cdot \varepsilon_2 \quad (6)$$

donde ε es la permitividad estática de la mezcla, ϕ_i , la fracción en volumen que hace referencia al estado no mezclado y ε_i la permitividad estática del componente i [12].

Los valores experimentales de la permitividad estática relativa y la permitividad de exceso en función de la fracción molar o la fracción en volumen se recogen en la Tabla A1 de los anexos.

Los valores de permitividad de exceso se representan en las Figuras 5,6,7 y 8.

Las propiedades de exceso se han correlacionado utilizando el ajuste polinómico de Redlich-Kister [13] en términos de fracción de volumen, del que hablamos a continuación.

▪ Ajuste de Redlich-Kister:

Una vez obtenidos los valores de permitividad de exceso a partir de las expresiones anteriores y los datos experimentales, se realiza un ajuste de los mismos mediante la ecuación de Redlich-Kister, la cual no es más que una expansión polinómica que calcula las contribuciones de Y correspondientes a la propiedad bajo estudio de las mezclas binarias formadas por los componentes i,j . Su expresión es la siguiente:

$$Y^E = \phi_i \cdot \phi_j \sum_{i=0}^l A_i \cdot (\phi_i - \phi_j)^i \quad (7)$$

siendo Y^E la propiedad de exceso o la desviación de la propiedad, según como corresponda, A_i son los parámetros ajustables que minimizan la desviación estándar; ϕ_i es la fracción.

La desviación estándar, $\sigma(Y^E)$, de los ajustes de la propiedad de exceso se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma(Y^E) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (Y^{E,exp} - Y^{E,cal})^2}{(m-p)}} \quad (8)$$

en la que $Y^{E,cal}$ es la magnitud calculada con la expresión polinómica del ajuste, $Y^{E,exp}$ es la magnitud experimental, m el número de puntos experimentales y p el número de parámetros empleados en el ajuste.

En la Tabla 3 se recogen los valores de los parámetros de ajuste junto con sus correspondientes desviaciones estándar para la propiedad de permitividad de exceso de las mezclas estudiadas, mientras que en las figuras que se muestran a continuación se presenta el ajuste de Redlich-Kister de permitividad de exceso frente a la concentración del correspondiente alcano para las mezclas estudiadas y en todo el rango de temperaturas de trabajo.

Tabla 3 Parametros, A_i , y desviaciones standard, $\sigma(\varepsilon^E)$, de la ecuación de Redlich-Kister.

T / K	A_0	A_1	A_2	A_3	$\sigma(Y^E)$
Hexano (1) + 1-cloropropano (2)					
283,15	-1,701	-0,139	-0,258	0,046	0,001
288,15	-1,686	-0,118	-0,175	0,072	0,001
293,15	-1,659	-0,117	-0,119	0,136	0,001
298,15	-1,619	-0,133	-0,098	0,219	0,002
303,15	-1,574	-0,174	-0,102	0,302	0,003
308,15	-1,519	-0,245	-0,114	0,411	0,004
313,15	-1,453	-0,334	-0,16	0,599	0,004
Hexano (1) + 1-cloropentano (2)					
283,15	-0,855	-0,083	0,054	-0,130	0,002
288,15	-0,809	-0,161	0,122	-0,033	0,002
293,15	-0,758	-0,225	0,179	0,054	0,002
298,15	-0,707	-0,286	0,213	0,105	0,002
303,15	-0,651	-0,331	0,234	0,134	0,002
308,15	-0,595	-0,353	0,243	0,109	0,002
313,15	-0,540	-0,366	0,240	0,069	0,002
Heptano (1) + 1-cloropropano (2)					
283,15	-1,837	-0,186	0,122	0,013	0,003
288,15	-1,773	-0,177	0,115	0,059	0,002
293,15	-1,717	-0,157	0,107	0,079	0,002
298,15	-1,673	-0,134	0,105	0,057	0,001
303,15	-1,642	-0,117	0,086	0,034	0,001
308,15	-1,617	-0,1	0,063	0,003	0,003
313,15	-1,595	-0,087	0,033	0,009	0,004
Heptano (1) + 1-cloropentano (2)					
283,15	-0,620	-0,691	1,015	0,103	0,003
288,15	-0,606	-0,669	1,023	0,066	0,003
293,15	-0,588	-0,641	1,031	0,018	0,002
298,15	-0,560	-0,635	1,001	0,017	0,003
303,15	-0,537	-0,633	0,990	0,044	0,003
308,15	-0,510	-0,652	0,983	0,120	0,003
313,15	-0,486	-0,674	0,979	0,198	0,002

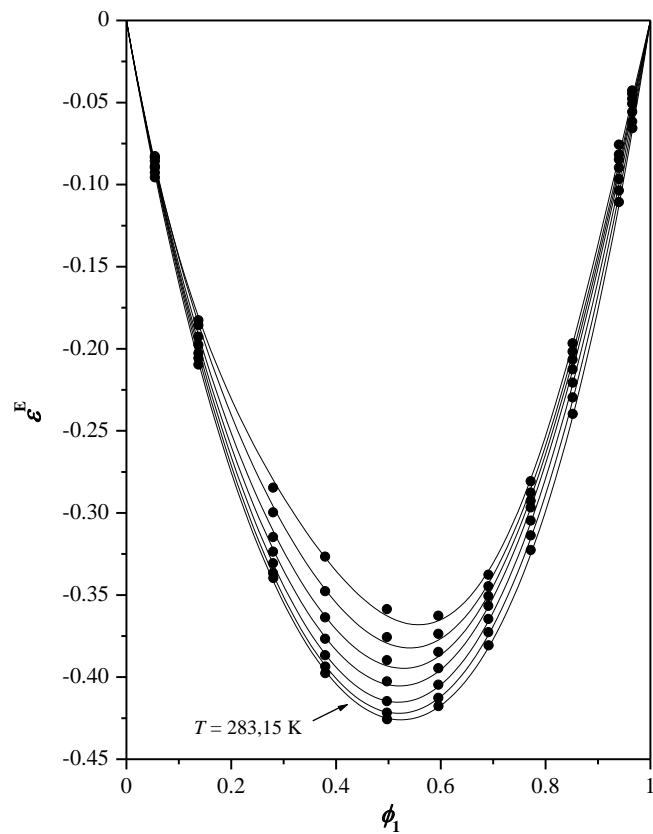


Figura 5. Permittividades de exceso, ε^E , de la mezcla binaria hexano (1) + 1-cloropropano (2) en función de la fracción en volumen, ϕ_1 , a las distintas temperaturas de trabajo, T : (●) valores experimentales; (—) ecuación de Redlich-Kister.

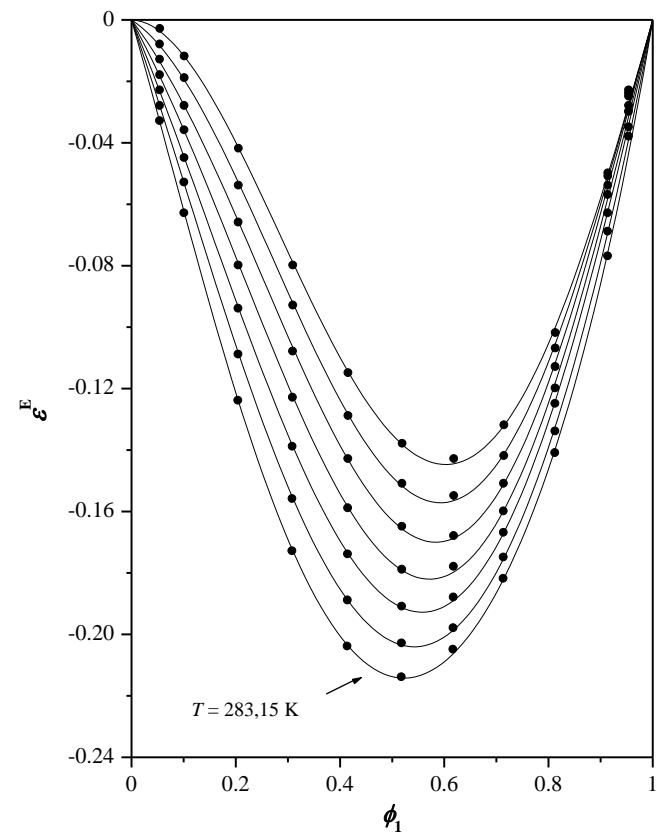


Figura 6. Permittividades de exceso, ε^E , de la mezcla binaria hexano (1) + 1-cloropentano (2) en función de la fracción en volumen, ϕ_1 , a las distintas temperaturas de trabajo, T : (●) valores experimentales; (—) ecuación de Redlich-Kister.

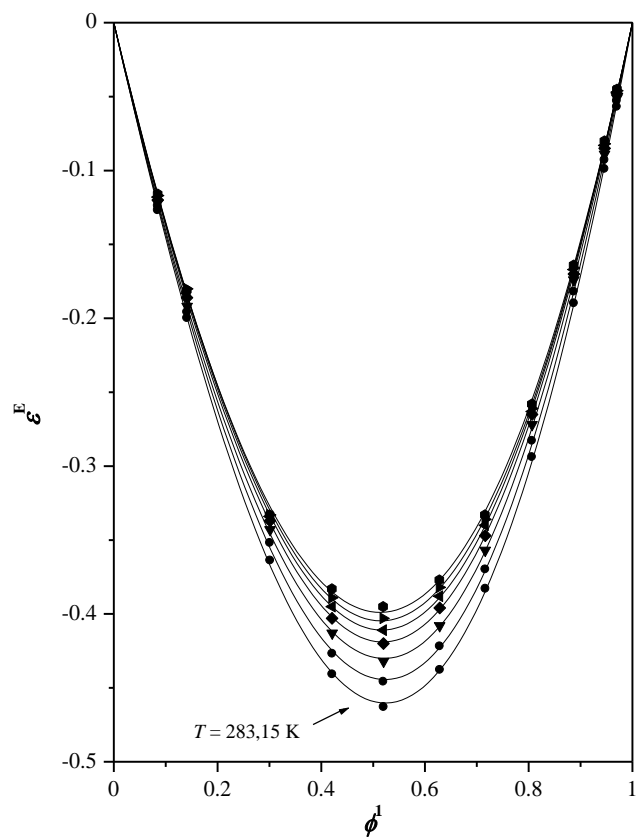


Figura 7. Permittividades de exceso, ε^E , de la mezcla binaria heptano(1) + 1-cloropropano (2) en función de la fracción en volumen, ϕ_1 , a las distintas temperaturas de trabajo, T : (●) valores experimentales; (—) ecuación de Redlich-Kister.

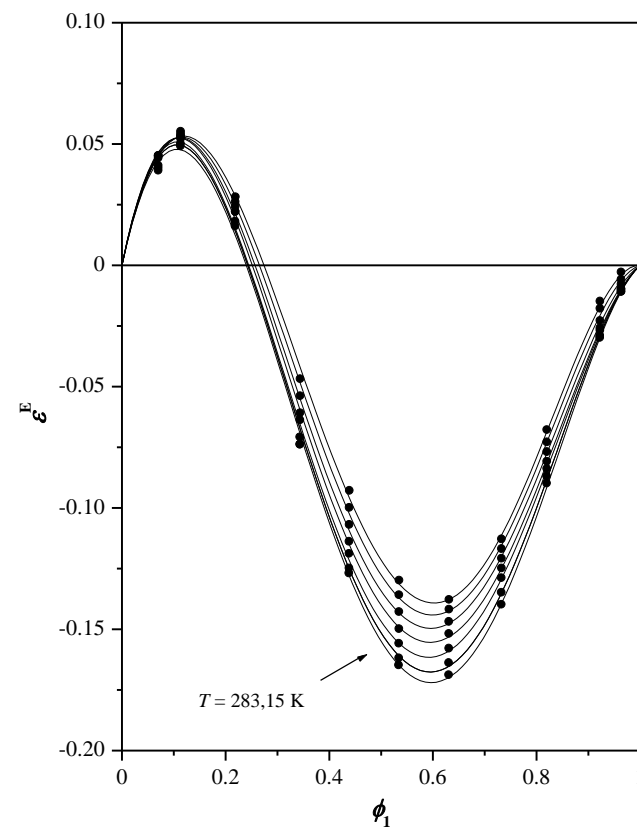


Figura 8. Permittividades de exceso, ε^E , de la mezcla binaria heptano(1) + 1-cloropentano (2) en función de la fracción en volumen, ϕ_1 , a las distintas temperaturas de trabajo, T : (●) valores experimentales; (—) ecuación de Redlich-Kister.

4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Consideraciones acerca de los dos sistemas binarios estudiados:

Tal y como hemos ido viendo, las propiedades de exceso reflejan la diferencia entre el comportamiento real de una mezcla respecto su comportamiento ideal. La no linealidad es atribuida a fenómenos moleculares que pueden ser tanto energéticos como estructurales.

Si hablamos de los fenómenos energéticos que pueden producirse durante el proceso de mezcla, podemos diferenciar dos efectos con carácter opuesto:

1. Por un lado, encontramos el debilitamiento de interacciones moleculares presentes en las sustancias puras al entrar en contacto con otras sustancias
2. Por otro lado, se producen nuevas interacciones entre los distintos componentes de la mezcla.

Si hablamos de los fenómenos estructurales que se producen o pueden producir durante la mezcla están los efectos relacionados con las diferencias en el tamaño y forma existente entre sus componentes. Estos efectos son debidos a cambios en el volumen y las modificaciones que sufren las estructuras de los compuestos puros.

Lo primero que observamos al mirar las curvas es que tres de ellas tienen una forma muy similar, son bastante simétricas y una de ellas es diferente. Para la mezcla con n-hexano obtenemos una curva sin forma sigmoideal, con un valor mínimo para los valores de ε^E a una fracción en volumen determinada, situándose este mínimo en torno a $\phi_1 = 0,5$ para todas las temperaturas.

En el caso de la mezcla con n-heptano se obtienen dos tipos de curvas, una sencilla como las anteriores con un mínimo, localizándose para todas ellas en torno a $\phi_1 = 0,5$. En el caso de la mezcla n-heptano + 1-cloropentano, obtenemos una curva sigmoideal, más compleja que las anteriores. Presentan un máximo y un mínimo siendo $\phi_1 = 0,2$ y $\phi_1 = 0,6$, respectivamente.

Para analizar estos resultados obtenidos, vamos a analizar las diferentes moléculas por separado. Tomando como molécula inicial el 1-cloropropano. Se trata de un halogenuro de alquilo primario cuya fórmula es C_3H_7Cl , derivado del propano con sustitución de un átomo de hidrógeno por uno de cloro. La diferencia se encuentra principalmente en que posee un enlace polarizado cloro-carbono que constituye su centro reactivo, de forma rige su comportamiento y disposición estructural. De modo que, estas moléculas presentan un momento dipolar no nulo ($\mu = 2,05$ Debye, medido en fase líquida a $T = 298,15K$) que produce atracción entre sus moléculas a través de interacciones dipolo-dipolo.

El 1-cloropentano también es un halogenuro de alquilo primario cuya fórmula es $C_5H_{11}Cl$, derivado del pentano con sustitución de un átomo de hidrógeno por uno de cloro. También posee un enlace polarizado cloro-carbono y un momento dipolar no nulo ($\mu = 2,16$ Debye medido en fase líquida a $T = 298,15K$)

El hexano es un hidrocarburo alifático cuya fórmula química es C_6H_{14} . Es un líquido incoloro e inflamable. Se mezcla bien con disolventes orgánicos polares pero, en cambio, es casi inmisible en agua. Sus cadenas se caracterizan por ser muy regulares, organizadas a menudo en disposiciones en zig-zag. Sus moléculas son apolares y se atraen entre sí a través de fuerzas de van der Waals, gracias a las cuales adquieren sus propiedades físicas.

Lo mismo ocurre con el heptano, otro hidrocarburo alifático cuya fórmula química es C_7H_{16} . Es un líquido cuyas interacciones también son debidas a las fuerzas de van der Waals.

Las curvas de hexano + 1-cloropropano y 1-cloropentano y heptano + 1-cloropropano toman valores de permitividad de exceso negativos en toda la composición, en cambio, la curva de heptano + 1-cloropentano muestra forma sigmoidea, con valores positivos de permitividad y valores negativos. El comportamiento observado de permitividades de exceso principalmente negativas, revelan que las mezclas de componentes interactúan de tal forma que los momentos dipolares efectivos se reducen de modo que la polarización de la mezcla real es más pequeña que la del cloroalcano ideal. Es decir, las moléculas de alcano se introducen en la estructura de los 1-cloroalcanos y debilitan sus enlaces dipolo-dipolo.

Para el caso del heptano + 1-cloropentano, muestra una curva sigmoidea, con valores positivos de permitividad de exceso en las zonas más ricas de alcano.

Es decir, las moléculas de alcano interrumpen la estructura de los 1-cloroalcanos debilitando sus interacciones dipolo-dipolo. Solo en el caso en que la concentración de heptano es muy baja ϵ^E alcanza valores ligeramente positivos.

En cuanto a las curvas debidas al factor de correlación de Kirkwood, Figura 11, y sabiendo que g es un parámetro que proporciona información con respecto a la orientación de los dipolos en líquidos polares comentaremos lo siguiente. Para un líquido puro, hemos obtenido los valores de g como hemos explicado anteriormente.

Con respecto a los valores de g , para el caso del hexano, todos los valores de g son menores que 1 mientras que g para las mezclas de heptano es levemente mayor que 1. Para un alcano dado, los valores de factor de correlación de Kirkwood de las mezclas sigue la secuencia: 1-clorobutano > 1-cloropentano > 1-cloropropano.

Podemos señalar que el comportamiento del factor de correlación de Kirkwood para las mezclas que contienen n-hexano o n-heptano es bastante similar.

4.2. Comparación con otros sistemas binarios:

Generalmente, los valores de ε^E para las mezclas alcano + 1-cloroalcano son negativos y aumentan en valor absoluto en la serie hexano \rightarrow pentano para el mismo 1-cloroalcano, es decir, al incrementar el número de átomos de carbono de los alcanos. Sin embargo, para el mismo alcano, ε^E disminuye en la serie 1-cloropentano \rightarrow 1-cloropropano. El patrón de comportamiento nos indica que una reducción de cadena alquílica del 1-cloroalcano es favorable en términos de acomodación molecular en la disolución. Además observamos que los cambios de temperatura también influyen estos fenómenos. Al aumentar la temperatura, los valores de permitividad de exceso toman valores ligeramente menos negativos, de modo que la acomodación molecular en la disolución es desfavorable al aumentar la temperatura.

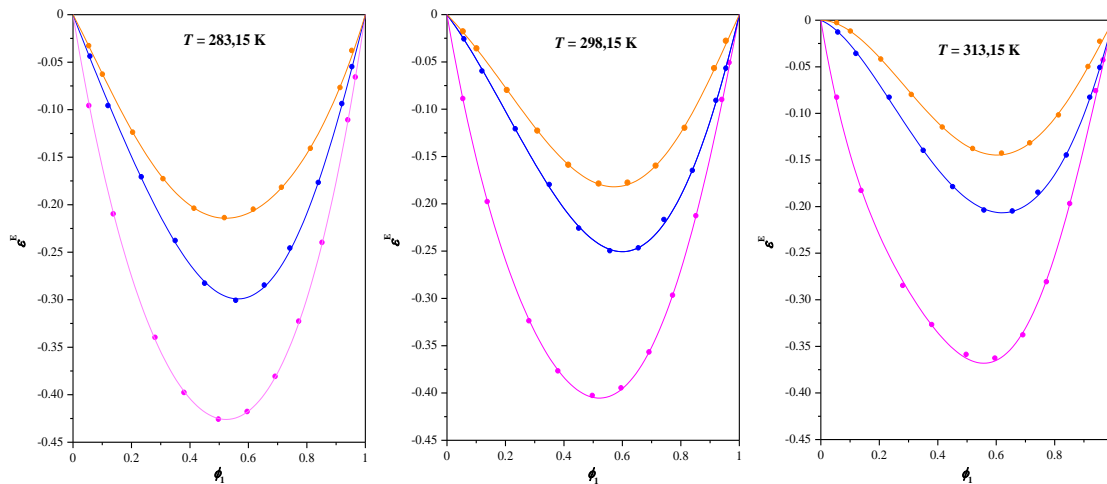


Figura 9. Permitividades de exceso, ε^E , de las mezcla binarias hexano(1) + 1-cloroalcano (2) en función de la fracción en volumen, ϕ_1 , a las temperaturas indicadas: (●)1-cloropropano; (●)1-clorobutano; (●)1-cloropentano;

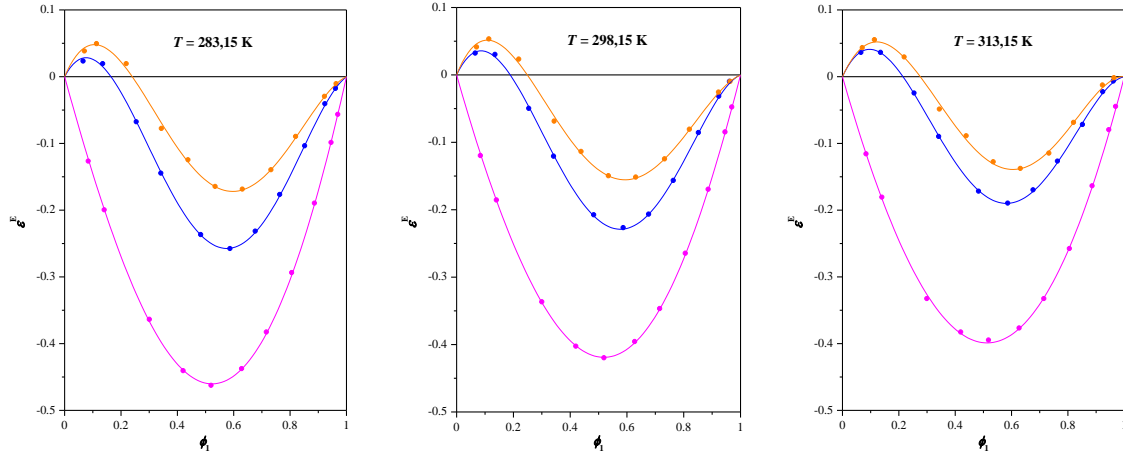


Figura 10. Permittividades de exceso, ε^E , de las mezcla binarias heptano(1) + 1-cloroalcano (2) en función de la fracción en volumen, ϕ_1 , a las temperaturas indicadas: (●)1-cloropropano; (●)1-clorobutano; (●)1-cloropentano;

4.2. Factor de correlación de Kirkwood, g :

El factor de correlación de Kirkwood, g , es un parámetro que proporciona información con respecto a la orientación de los dipolos en los líquidos polares. Para un líquido g pueden obtenerse usando la ecuación de Kirkwood-Fröhlich [15, 16]:

$$g = \frac{(\varepsilon - \varepsilon_\infty)(2\varepsilon - \varepsilon_\infty)}{\varepsilon(\varepsilon_\infty + 2)^2} \frac{9kT}{4\pi N_A} \frac{M}{\rho \mu^2} \quad (9)$$

donde ε es la permitividad, ρ la densidad y k la constante de Boltzman, T la temperatura, N_A el número de Avogadro, M la masa molar y μ el momento dipolar en la fase gaseosa. En este trabajo calcularemos la permitividad a alta frecuencia, ε_∞ , como $\varepsilon_\infty = n_D^2$. El factor de correlación de Kirkwood para mezclas binarias se calcula con la siguiente ecuación [17, 18]:

$$g = \frac{(\varepsilon - \varepsilon_\infty)(2\varepsilon - \varepsilon_\infty)}{\varepsilon(\varepsilon_\infty + 2)^2} \frac{9kT}{4\pi N_A} \sum_{i=1} (\phi_i \frac{\rho_i \mu_i^2}{M_i}) \quad (10)$$

donde ϕ_i es la fracción en volumen del componente i . Los valores de las densidades y de los índices de refracción tanto de los compuestos puros como de sus mezclas se han tomado de trabajo previos

[4, 5]. El valor de este parámetro cambia del factor de correlación de Kirkwood de un líquido puro al del segundo líquido. En este caso, hemos calculado los factores de correlación de Kirkwood a $T = 298,15$ K.

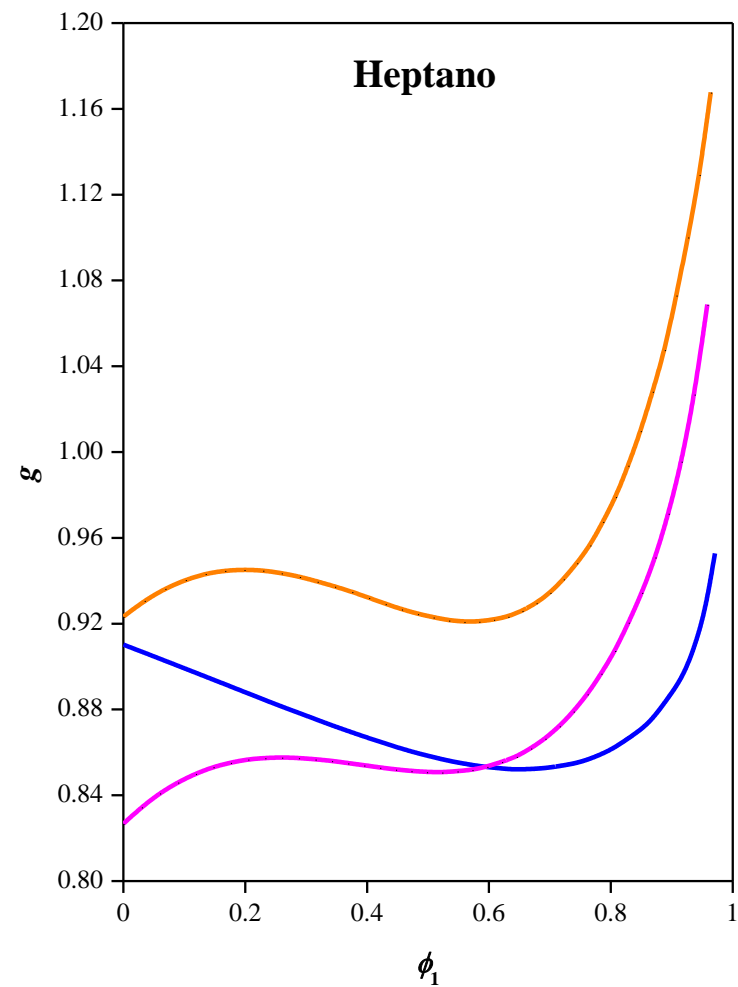
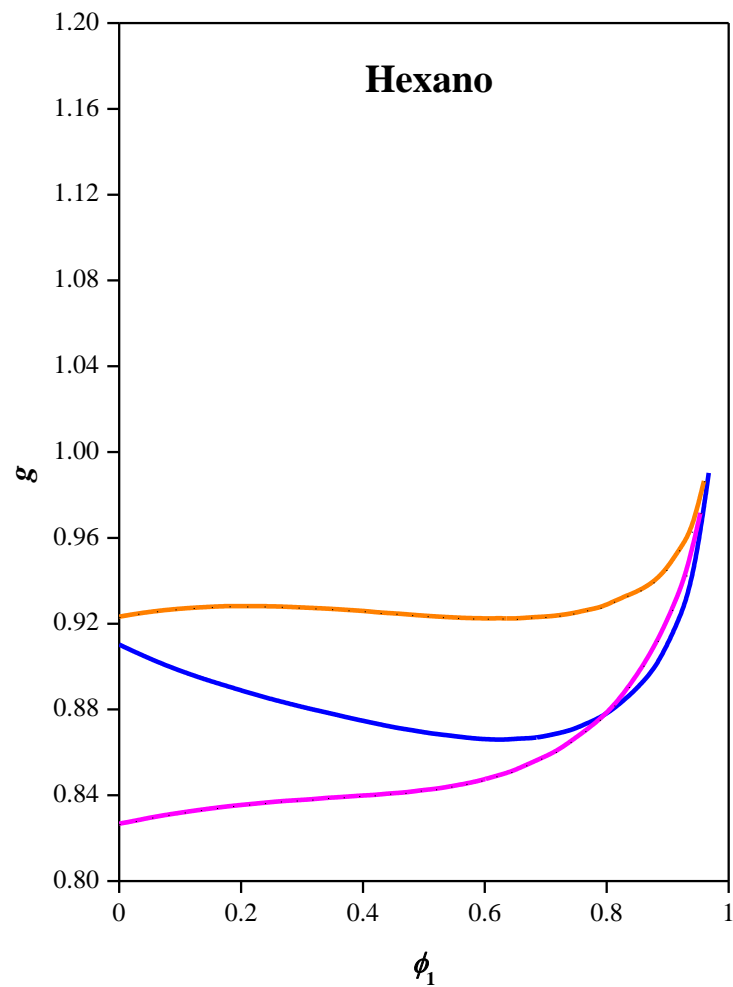


Figura 11. Factor de correlación de Kirchwood, g , a $T = 298,15$ K para las mezclas n-alcano (1) + n-cloroalcano (2) en función de la fracción de volumen, ϕ_1 : (—) 1-cloropropano; (—) 1-clorobutano; (—) 1-cloropentano.

5. CONCLUSIÓN:

El interés de este estudio radica en el diverso comportamiento de mezcla en presencia de diferentes tipos de moléculas. Estas mezclas tienen especial interés porque presentan características termodinámicas interesantes que se comentan comúnmente en términos de destrucción o creación del orden y/o de los cambios conformacionales que se producen en los hidrocarburos.

De este modo, midiendo propiedades básicas de cada componente y de sus respectivas mezclas como hemos llevado a cabo, midiendo la resistividad al paso de la corriente, podemos calcular funciones termodinámicas de exceso. Este estudio tiene especial interés por la influencia de la longitud de la cadena del n-alcano y de la estructura del otro componente, en nuestro caso 1-cloroalcanos.

Este estudio ha sido encaminado hacia mezclas de n-hexano y n-heptano con 1-cloropropano y 1-cloropentano. Así mismo, hemos llevado a cabo la comparación con otros cloroalcanos de estudios anteriores que ha servido para poner de manifiesto que el orden molecular desempeña un papel fundamental en la explicación de las propiedades termodinámicas de exceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. J. Samuels, *J. Appl. Polym. Sci.* 26 (1981) 1383-1412.
- [2] V. Alonso, J. A. González, I. García de la Fuente, J. C. Cobos, *Thermochim. Acta* 543 (2012) 246-253.
- [3] K. Klimaszewski, A. Borun, A. Bald, R. J. Sengwa, *J. Chem. Eng. Data* 57 (2012) 3164-3170.
- [4] I. Aparicio, Estudio termofísico de mezclas binarias: aplicabilidad en la obtención de estructuras moleculares. Trabajo Académicamente Dirigido, Universidad de Zaragoza (2010)
- [5] E. Alonso, H. Guerrero, D. Montañó, C. Lafuente, H. Artigas, *Thermochim. Acta* 525 (2011) 71-77.
- [6] H. Guerrero, P. Cea, I. Gascon, F. M. Royo, C. Lafuente, *J. Phys. Chem. B* 117 (2013) 10284-10292.
- [7] R. H. Stokes, *J. Chem. Thermodyn.* 5 (1973) 379-385.
- [8] T. P. Iglesias, J. L. Legido, S. M. Pereira, B. de Cominges, M. I. P. Andrade, *J. Chem. Thermodyn.* 32 (2000) 923-930.
- [9] W. G. S. Scaife, C. G. R. Lyons, *Proc. Soc. London Ser. A* 370 (1980) 193-211.
- [10] D. R. Lide, *Handbook of Chemistry and Physics*, 90th ed.; C.R.C. Press, Boca Ratón, USA, 2009.
- [11] R. D. Nelson Jr., D. R. Lide Jr., A. A. Maryott, Selected values of electric dipole moments for molecules in the gas phase, National Bureau of Standards, United States Department of Commerce Technical Report NSRDS-NBS10, 1967.
- [12] J.C.R. Reis, T. P. Iglesias, G. Douhéret, M. I. Davis, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 11 (2009) 3977-3986.
- [13] O. Redlich, A.T. Kister, *Ind. Eng. Chem.* 40 (1948) 341-345.
- [14] J. Benito, H. Guerrero, H. Artigas, M.C. López, C. Lafuente, *J. Chem. Thermodyn.* 86 (2015) 162-167.
- [15] H. Fröhlich, *Theory of dielectrics*, Oxford University Press, Oxford, United Kingdom, 1949.
- [16] E. U. Franck, R. Deul, *Faraday Discuss Chem. Soc.* 66 (1978) 191-198.
- [17] D. Balamurugan, S. Kumar, S. Krishnan, *J. Mol. Liq.* 122 (2005) 11-14.
- [19] A. Chaudhari, H. C. Chaudhari, S. C. Mehrotra, *Bull. Korean Chem. Soc.* 25 (2004) 1403-1047.

ANEXOS

Tabla A1. Permitividades estáticas relativas, ε , y permitividades de exceso, ε^E , en función de la fracción molar, x_1 , o fracción en volumen, ϕ_1 , de las mezclas binarias alcano (1) + cloroalcano (2) a las distintas temperaturas de trabajo y a $p = 0,1$ MPa. ^a

x_1	ϕ_1	ε	ε^E	x_1	ϕ_1	ε	ε^E
Hexano (1) + 1-cloropropano (2) a $T = 283,15$ K							
0,0000	0,0000	8,908		0,6031	0,6924	3,682	-0,381
0,0382	0,0556	8,423	-0,096	0,6968	0,7729	3,176	-0,323
0,0981	0,1387	7,727	-0,210	0,7964	0,8528	2,700	-0,240
0,2092	0,2815	6,598	-0,340	0,9153	0,9412	2,210	-0,111
0,2933	0,3807	5,846	-0,398	0,9514	0,9667	2,077	-0,066
0,4016	0,4985	4,993	-0,426	1,0000	1,0000	1,910	
0,4997	0,5967	4,314	-0,418				
Hexano (1) + 1-cloropropano (2) a $T = 288,15$ K							
0,0000	0,0000	8,695		0,6031	0,6922	3,621	-0,373
0,0382	0,0555	8,225	-0,093	0,6968	0,7728	3,132	-0,314
0,0981	0,1387	7,547	-0,206	0,7964	0,8527	2,673	-0,230
0,2092	0,2814	6,447	-0,337	0,9153	0,9412	2,198	-0,104
0,2933	0,3806	5,716	-0,394	0,9514	0,9666	2,068	-0,062
0,4016	0,4984	4,888	-0,422	1,0000	1,0000	1,903	
0,4997	0,5965	4,231	-0,413				
Hexano (1) + 1-cloropropano (2) a $T = 293,15$ K							
0,0000	0,0000	8,493		0,6031	0,6922	3,562	-0,365
0,0382	0,0555	8,037	-0,090	0,6968	0,7728	3,090	-0,305
0,0981	0,1387	7,375	-0,203	0,7964	0,8527	2,647	-0,221
0,2092	0,2814	6,306	-0,331	0,9153	0,9412	2,187	-0,097
0,2933	0,3805	5,596	-0,387	0,9514	0,9666	2,060	-0,056
0,4016	0,4983	4,791	-0,415	1,0000	1,0000	1,896	
0,4997	0,5965	4,153	-0,405				
Hexano (1) + 1-cloropropano (2) a $T = 298,15$ K							
0,0000	0,0000	8,295		0,6031	0,6922	3,504	-0,357
0,0382	0,0555	7,850	-0,089	0,6968	0,7728	3,047	-0,297
0,0981	0,1386	7,209	-0,198	0,7964	0,8527	2,620	-0,213
0,2092	0,2813	6,169	-0,324	0,9153	0,9411	2,176	-0,090
0,2933	0,3805	5,481	-0,377	0,9514	0,9666	2,052	-0,051
0,4016	0,4983	4,700	-0,403	1,0000	1,0000	1,889	
0,4997	0,5964	4,079	-0,395				
Hexano (1) + 1-cloropropano (2) a $T = 303,15$ K							
0,0000	0,0000	8,095		0,6031	0,6921	3,443	-0,351
0,0382	0,0555	7,664	-0,086	0,6968	0,7727	3,000	-0,293
0,0981	0,1386	7,041	-0,193	0,7964	0,8527	2,589	-0,207

Tabla A1. Continuación

x_1	ϕ_1	ε	ε^E	x_1	ϕ_1	ε	ε^E
0,2092	0,2813	6,032	-0,315	0,9153	0,9411	2,162	-0,085
0,2933	0,3804	5,367	-0,364	0,9514	0,9666	2,041	-0,048
0,4016	0,4982	4,609	-0,390	1,0000	1,0000	1,881	
0,4997	0,5964	4,004	-0,385				
Hexano (1) + 1-cloropropano (2) a $T = 308,15$ K							
0,0000	0,0000	7,908		0,6031	0,6921	3,387	-0,345
0,0382	0,0555	7,489	-0,084	0,6968	0,7727	2,958	-0,288
0,0981	0,1386	6,886	-0,186	0,7964	0,8526	2,561	-0,202
0,2092	0,2812	5,911	-0,300	0,9153	0,9411	2,147	-0,082
0,2933	0,3804	5,265	-0,348	0,9514	0,9666	2,031	-0,045
0,4016	0,4982	4,526	-0,376	1,0000	1,0000	1,874	
0,4997	0,5963	3,936	-0,374				
Hexano (1) + 1-cloropropano (2) a $T = 313,15$ K							
0,0000	0,0000	7,734		0,6031	0,6921	3,335	-0,338
0,0382	0,0555	7,326	-0,083	0,6968	0,7727	2,920	-0,281
0,0981	0,1386	6,738	-0,183	0,7964	0,8526	2,535	-0,197
0,2092	0,2812	5,799	-0,285	0,9153	0,9411	2,137	-0,076
0,2933	0,3804	5,175	-0,327	0,9514	0,9666	2,020	-0,043
0,4016	0,4982	4,452	-0,359	1,0000	1,0000	1,867	
0,4997	0,5963	3,873	-0,363				
Hexano (1) + 1-cloropentano (2) a $T = 283,15$ K							
0,0000	0,0000	6,834		0,5998	0,6178	3,587	-0,205
0,0512	0,055	6,530	-0,033	0,6984	0,7141	3,136	-0,182
0,0949	0,1016	6,271	-0,063	0,8013	0,8131	2,689	-0,141
0,1930	0,2051	5,700	-0,124	0,9084	0,9145	2,254	-0,077
0,2931	0,309	5,139	-0,173	0,9511	0,9545	2,096	-0,038
0,3966	0,4149	4,587	-0,204	1,0000	1,0000	1,910	
0,4998	0,5187	4,066	-0,214				
Hexano (1) + 1-cloropentano (2) a $T = 288,15$ K							
0,0000	0,0000	6,697		0,5998	0,6181	3,536	-0,198
0,0512	0,0551	6,405	-0,028	0,6984	0,7143	3,098	-0,175
0,0949	0,1017	6,156	-0,053	0,8013	0,8133	2,664	-0,134
0,1930	0,2053	5,604	-0,109	0,9084	0,9146	2,243	-0,069
0,2931	0,3093	5,058	-0,156	0,9511	0,9546	2,086	-0,035
0,3966	0,4151	4,518	-0,189	1,0000	1,0000	1,903	
0,4998	0,5190	4,006	-0,203				
Hexano (1) + 1-cloropentano (2) a $T = 293,15$ K							
0,0000	0,0000	6,574		0,5998	0,6184	3,493	-0,188

Tabla A1. Continuación

x_1	ϕ_1	ε	ε^E	x_1	ϕ_1	ε	ε^E
0,0512	0,0551	6,293	-0,023	0,6984	0,7146	3,064	-0,167
0,0949	0,1018	6,053	-0,045	0,8013	0,8134	2,644	-0,125
0,1930	0,2054	5,519	-0,094	0,9084	0,9147	2,232	-0,063
0,2931	0,3095	4,987	-0,139	0,9511	0,9546	2,078	-0,030
0,3966	0,4154	4,457	-0,174	1,0000	1,0000	1,896	
0,4998	0,5193	3,954	-0,191				
Hexano (1) + 1-cloropentano (2) a $T = 298,15$ K							
0,0000	0,0000	6,451		0,5998	0,6187	3,450	-0,178
0,0512	0,0552	6,181	-0,018	0,6984	0,7148	3,030	-0,160
0,0949	0,1019	5,950	-0,036	0,8013	0,8136	2,619	-0,120
0,1930	0,2056	5,433	-0,080	0,9084	0,9148	2,221	-0,057
0,2931	0,3098	4,915	-0,123	0,9511	0,9547	2,068	-0,028
0,3966	0,4157	4,396	-0,159	1,0000	1,0000	1,889	
0,4998	0,5196	3,902	-0,179				
Hexano (1) + 1-cloropentano (2) a $T = 303,15$ K							
0,0000	0,0000	6,335		0,5998	0,6189	3,410	-0,168
0,0512	0,0553	6,076	-0,013	0,6984	0,7151	2,999	-0,151
0,0949	0,102	5,853	-0,028	0,8013	0,8138	2,597	-0,113
0,1930	0,2058	5,352	-0,066	0,9084	0,9149	2,206	-0,054
0,2931	0,3100	4,846	-0,108	0,9511	0,9547	2,058	-0,025
0,3966	0,4160	4,339	-0,143	1,0000	1,0000	1,881	
0,4998	0,5199	3,854	-0,165				
Hexano (1) + 1-cloropentano (2) a $T = 308,15$ K							
0,0000	0,0000	6,214		0,5998	0,6193	3,371	-0,155
0,0512	0,0553	5,966	-0,008	0,6984	0,7153	2,968	-0,142
0,0949	0,1022	5,751	-0,019	0,8013	0,8140	2,574	-0,107
0,1930	0,2061	5,266	-0,054	0,9084	0,9150	2,192	-0,051
0,2931	0,3103	4,774	-0,093	0,9511	0,9548	2,046	-0,024
0,3966	0,4163	4,278	-0,129	1,0000	1,0000	1,874	
0,4998	0,5202	3,805	-0,151				
Hexano (1) + 1-cloropentano (2) a $T = 313,15$ K							
0,0000	0,0000	6,095		0,5998	0,6194	3,333	-0,143
0,0512	0,0554	5,858	-0,003	0,6984	0,7155	2,938	-0,132
0,0949	0,1022	5,651	-0,012	0,8013	0,8141	2,551	-0,102
0,1930	0,2062	5,181	-0,042	0,9084	0,9150	2,176	-0,05
0,2931	0,3105	4,702	-0,080	0,9511	0,9548	2,035	-0,023
0,3966	0,4165	4,219	-0,115	1,0000	1,0000	1,867	
0,4998	0,5204	3,757	-0,138				

Tabla A1. Continuación

x_1	ϕ_1	ε	ε^E	x_1	ϕ_1	ε	ε^E
Heptano (1) + 1-cloropropano (2) a $T = 283,15$ K							
0,0000	0,0000	8,908		0,6035	0,7168	3,535	-0,383
0,0529	0,085	8,189	-0,127	0,7154	0,8069	2,996	-0,294
0,0902	0,1415	7,723	-0,200	0,8256	0,8873	2,541	-0,190
0,2062	0,3016	6,444	-0,364	0,9140	0,9464	2,220	-0,099
0,3048	0,4216	5,532	-0,441	0,9515	0,9703	2,096	-0,057
0,3951	0,5206	4,821	-0,463	1,0000	1,0000	1,946	
0,5049	0,629	4,091	-0,438				
Heptano (1) + 1-cloropropano (2) a $T = 288,15$ K							
0,0000	0,0000	8,695		0,6035	0,7165	3,484	-0,370
0,0529	0,0849	7,997	-0,124	0,7154	0,8067	2,961	-0,283
0,0902	0,1414	7,544	-0,196	0,8256	0,8871	2,519	-0,182
0,2062	0,3014	6,306	-0,352	0,9140	0,9464	2,207	-0,093
0,3048	0,4213	5,421	-0,427	0,9515	0,9702	2,086	-0,053
0,3951	0,5203	4,733	-0,446	1,0000	1,0000	1,938	
0,5049	0,6287	4,025	-0,422				
Heptano (1) + 1-cloropropano (2) a $T = 293,15$ K							
0,0000	0,0000	8,493		0,6035	0,7163	3,435	-0,357
0,0529	0,0848	7,814	-0,122	0,7154	0,8066	2,927	-0,272
0,0902	0,1413	7,374	-0,192	0,8256	0,8871	2,497	-0,174
0,2062	0,3012	6,173	-0,343	0,9140	0,9463	2,193	-0,089
0,3048	0,4211	5,316	-0,413	0,9515	0,9702	2,075	-0,051
0,3951	0,5201	4,648	-0,432	1,0000	1,0000	1,930	
0,5049	0,6285	3,960	-0,408				
Heptano (1) + 1-cloropropano (2) a $T = 298,15$ K							
0,0000	0,0000	8,295		0,6035	0,7162	3,384	-0,347
0,0529	0,0847	7,635	-0,120	0,7154	0,8065	2,890	-0,265
0,0902	0,1412	7,209	-0,186	0,8256	0,8870	2,472	-0,170
0,2062	0,3010	6,040	-0,337	0,9140	0,9463	2,179	-0,085
0,3048	0,4209	5,210	-0,403	0,9515	0,9702	2,064	-0,048
0,3951	0,5199	4,562	-0,420	1,0000	1,0000	1,922	
0,5049	0,6283	3,895	-0,396				
Heptano (1) + 1-cloropropano (2) a $T = 303,15$ K							
0,0000	0,0000	8,095		0,6035	0,7160	3,330	-0,340
0,0529	0,0847	7,454	-0,118	0,7154	0,8063	2,849	-0,263
0,0902	0,141	7,041	-0,183	0,8256	0,8869	2,447	-0,167
0,2062	0,3008	5,902	-0,334	0,9140	0,9462	2,164	-0,083
0,3048	0,4207	5,100	-0,395	0,9515	0,9701	2,053	-0,047

Tabla A1. Continuación

x_1	ϕ_1	ε	ε^E	x_1	ϕ_1	ε	ε^E
0,3951	0,5196	4,473	-0,411	1,0000	1,0000	1,915	
0,5049	0,6281	3,825	-0,388				
Heptano (1) + 1-cloropropano (2) a $T = 308,15$ K							
0,0000	0,0000	7,908		0,6035	0,7158	3,276	-0,336
0,0529	0,0846	7,283	-0,117	0,7154	0,8062	2,809	-0,261
0,0902	0,1409	6,882	-0,180	0,8256	0,8868	2,420	-0,166
0,2062	0,3006	5,771	-0,333	0,9140	0,9462	2,148	-0,082
0,3048	0,4204	4,996	-0,389	0,9515	0,9701	2,040	-0,046
0,3951	0,5194	4,388	-0,403	1,0000	1,0000	1,907	
0,5049	0,6279	3,758	-0,382				
Heptano (1) + 1-cloropropano (2) a $T = 313,15$ K							
0,0000	0,0000	7,734		0,6035	0,7157	3,226	-0,333
0,0529	0,0846	7,124	-0,116	0,7154	0,8061	2,773	-0,258
0,0902	0,1409	6,731	-0,181	0,8256	0,8868	2,396	-0,164
0,2062	0,3005	5,648	-0,333	0,9140	0,9462	2,134	-0,08
0,3048	0,4204	4,898	-0,383	0,9515	0,9701	2,029	-0,045
0,3951	0,5193	4,309	-0,395	1,0000	1,0000	1,900	
0,5049	0,6278	3,694	-0,377				
Heptano (1) + 1-cloropentano (2) a $T = 283,15$ K							
0,0000	0,0000	6,834		0,5860	0,6316	3,578	-0,169
0,0595	0,0712	6,525	0,039	0,6940	0,7331	3,111	-0,14
0,0962	0,1142	6,325	0,049	0,7907	0,8206	2,733	-0,09
0,1885	0,2195	5,777	0,016	0,9086	0,9233	2,291	-0,03
0,3025	0,3443	5,077	-0,074	0,9571	0,9643	2,110	-0,011
0,3926	0,4391	4,561	-0,127	1,0000	1,0000	1,946	
0,4873	0,5351	4,053	-0,165				
Heptano (1) + 1-cloropentano (2) a $T = 288,15$ K							
0,0000	0,0000	6,697		0,5860	0,6316	3,527	-0,164
0,0595	0,0712	6,399	0,041	0,6940	0,7332	3,073	-0,135
0,0962	0,1142	6,204	0,050	0,7907	0,8207	2,704	-0,087
0,1885	0,2196	5,670	0,018	0,9086	0,9233	2,274	-0,029
0,3025	0,3444	4,987	-0,071	0,9571	0,9643	2,097	-0,011
0,3926	0,4392	4,482	-0,125	1,0000	1,0000	1,938	
0,4873	0,5352	3,988	-0,162				
Heptano (1) + 1-cloropentano (2) a $T = 293,15$ K							
0,0000	0,0000	6,574		0,5860	0,6318	3,482	-0,158
0,0595	0,0712	6,283	0,040	0,6940	0,7333	3,04	-0,129
0,0962	0,1143	6,095	0,052	0,7907	0,8208	2,678	-0,084

Tabla A1. Continuación

x_1	ϕ_1	ε	ε^E	x_1	ϕ_1	ε	ε^E
0,1885	0,2197	5,576	0,022	0,9086	0,9234	2,259	-0,027
0,3025	0,3445	4,900	-0,074	0,9571	0,9643	2,086	-0,010
0,3926	0,4393	4,415	-0,119	1,0000	1,0000	1,930	
0,4873	0,5353	3,932	-0,156				
Heptano (1) + 1-cloropentano (2) a $T = 298,15$ K							
0,0000	0,0000	6,451		0,5860	0,6319	3,437	-0,152
0,0595	0,0713	6,172	0,044	0,6940	0,7334	3,004	-0,125
0,0962	0,1143	5,986	0,053	0,7907	0,8208	2,653	-0,081
0,1885	0,2198	5,478	0,022	0,9086	0,9234	2,243	-0,026
0,3025	0,3447	4,826	-0,064	0,9571	0,9644	2,073	-0,010
0,3926	0,4394	4,347	-0,114	1,0000	1,0000	1,922	
0,4873	0,5355	3,876	-0,150				
Heptano (1) + 1-cloropentano (2) a $T = 303,15$ K							
0,0000	0,0000	6,335		0,5860	0,6320	3,395	-0,147
0,0595	0,0713	6,065	0,045	0,6940	0,7334	2,972	-0,121
0,0962	0,1144	5,882	0,053	0,7907	0,8209	2,630	-0,077
0,1885	0,2199	5,387	0,024	0,9086	0,9234	2,231	-0,023
0,3025	0,3448	4,750	-0,061	0,9571	0,9644	2,064	-0,008
0,3926	0,4395	4,285	-0,107	1,0000	1,0000	1,915	
0,4873	0,5356	3,825	-0,143				
Heptano (1) + 1-cloropentano (2) a $T = 308,15$ K							
0,0000	0,0000	6,214		0,5860	0,6321	3,350	-0,142
0,0595	0,0713	5,952	0,045	0,6940	0,7335	2,938	-0,117
0,0962	0,1144	5,775	0,054	0,7907	0,8210	2,605	-0,073
0,1885	0,2199	5,293	0,026	0,9086	0,9235	2,218	-0,018
0,3025	0,3449	4,675	-0,054	0,9571	0,9644	2,054	-0,006
0,3926	0,4397	4,220	-0,100	1,0000	1,0000	1,907	
0,4873	0,5357	3,771	-0,136				
Heptano (1) + 1-cloropentano (2) a $T = 313,15$ K							
0,0000	0,0000	6,095		0,5860	0,6322	3,305	-0,138
0,0595	0,0714	5,840	0,045	0,6940	0,7336	2,905	-0,113
0,0962	0,1145	5,670	0,055	0,7907	0,8210	2,583	-0,068
0,1885	0,2200	5,200	0,028	0,9086	0,9235	2,206	-0,015
0,3025	0,3450	4,601	-0,047	0,9571	0,9644	2,046	-0,003
0,3926	0,4398	4,157	-0,093	1,0000	1,0000	1,900	
0,4873	0,5358	3,717	-0,130				

^a Las incertidumbres estándar u son $u(T) = 0.01$ K, $u(p) = 0.0025$ MPa, y las incertidumbres expandidas combinadas U_c son $U_c(\varepsilon) = 1$ % con un nivel de confianza de 0.95 ($k = 2$).